Experimentelle Untersuchungen über verschiedene Eigenschaften einiger plastischer Füllmaterialien

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Zahnheilkunde der
HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

vorgelegt von

Erich-Claus Marquardt

Saarbrücken

1972

Druck:
Universitätsbibliothek Saarbrücken

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität des Saarlandes

Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. J. Stüben

Experimentelle Untersuchungen über verschiedene Eigenschaften einiger plastischer Füllmaterialien

I N A U G U R A L D I S S E R T A T I O N

Zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde einer HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

1972

vorgelegt von
Erich-Claus Marquardt
geb. am 27. 8. 1944 in Markirch

Dekan: Prof. Dr. med. H. Kulenkampff
Referent: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. J. Stüben

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Die mündliche Prüfung wurde am 16. Februar 1972 abgelegt.

Inhaltsübersicht

		Seite
A.	Einleitung	1
B.	Experimenteller Teil	3
I.	Die Druckfestigkeit der Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis	5
II.	Die Härte der Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis	10
III.	Die Haftintensität der Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis	13
IV.	Die Abrasion der Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis	21
V.	Die Wasseraufnahme der Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis	31
C.	Zusammenfassung	33
	Schrifttum	
	Lebenslauf	

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41542725_0009

A. Einleitung:

Als vor etwa 20 Jahren die ersten schnellhärtenden Kunststoffe auf Methacrylatbasis als Füllmaterialien in der Zahnheilkunde eingeführt wurden, glaubte man, das Problem der aesthetischen Wiederherstellung der Zahndefekte im Frontzahnbereich in idealer Weise gelöst zu haben. Doch schon bald darauf erkannte man, daß diese Kunststoffe auf die Dauer gesehen nicht den Anforderungen entsprachen, die man an einen mundbeständigen Füllungswerkstoff stellen muß; denn sie waren unter anderem nicht fabbeständig.

In jüngster Zeit wurde von der Firma KULZER ein neues Kunststoff-Füllmaterial entwickelt, das heute unter dem registrierten Warenzeichen PALAKAV hergestellt wird. Dieser Kunststoff verdient besonderes Interesse, da er neben der absoluten Farbbeständigkeit mit einer bislang unbekannten Eigenschaft aufwarten kann: Er füllt die präparierte Kavität nicht nur auf, wie die bisher benutzten Materialien, sondern bindet sich darüberhinaus chemisch an das angrenzende Zahnhartgewebe. Bleibt dieser chemische Verband Zahnhartgewebe-Füllungsmaterial von Dauer, so kann man sicher von einer guten Prognose für unsere heutige Füllungstherapie sprechen, und viele ihrer Probleme wie z.B. das der Randspaltbildung, der Randverfärbung und der Sekundärkaries wären gelöst.

Es ist jedoch unerläßlich, an diesem Material werkstoffkundliche Untersuchungen durchzuführen, um bei der Verwendung im klinischen Bereich vor therapeutischen Mißerfolgen geschützt zu sein. Deshalb sollen in meiner Arbeit einige physikalische Eigenschaften wie Druckfestigkeit, Härte, Abrieb und Haft-

intensität im Vergleich mit anderen bewährten plastischen Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis untersucht werden, um ein möglichst scharfes Bild von der Bedeutung dieses neuartigen Kunststoffes zu erhalten.

B. Experimenteller Teil:

Mischungsverhältnisse

Um den schnellhärtenden Kunststoff PALAKAV mit anderen plastischen Füllmaterialien vergleichen zu können, sind vier weitere auf dem Markt befindliche Produkte in die Versuchsreihen miteinbezogen worden.

Zur Untersuchung gelangten folgende Füllstoffe:

Bezeichnung:	Hersteller:
a) schnellhärtende Kunststoffe:	
PALAKAV	KULZER, Bad Homburg v.d.H.
ADDENT 12	3m COMPANY, Düsseldorf
ADDENT 35	
PALAVIT 55	KULZER, Bad Homburg v.d.H.
b) Silikatzement	
SUPER-SYNTREX	DE TREY GmbH, Waldshut

Alle zu vergleichenden Materialien wurden in ihrer spezifischen Standardkonsistenz angemischt und unter den gleichen Bedingungen geprüft. So war es möglich, die einzelnen Testergebnisse des Kunststoffes PALAKAV in Relationen zu anderen heute gebräuchlichen plastischen Füllmaterialien zu beurteilen.

Die genauen Mischungsverhältnisse der Versuchsstoffe werden in Tab. 1 angegeben:

Füllmaterial	Pulver	Flüssigkeit	weitere Zusätze
PALAKAV, M1: M1 = dick angerührt	1 g Pulver	0,34 ml Flüssigkeit	27 mg Starterpaste
PALAKAV, M2: M2 = normal angerührt	1 g Pulver	0,43 ml Flüssigkeit	27 mg Starterpaste
PALAKAV, M3: M3 = dünn angerührt	1 g Pulver	0,52 ml Flüssigkeit	27 mg Starterpaste
PALAVIT 55:	1 g Pulver	0,58 ml Flüssigkeit	
ADDENT 12:	1 g Paste	0,01 ml Flüssigkeit (Catalyst)	
ADDENT 35:	1 g Paste	0,01 ml Flüssigkeit (Catalyst)	
SUPER-SYNTREX:	1 g Pulver	0,26 ml Flüssigkeit	

Tab. 1: Mischungsverhältnisse der in den Versuchsreihen getesteten Füllmaterialien.

I. Die Druckfestigkeit der Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis

Da die vom Hersteller angegebene Indikationsbreite für den Kunststoff PALAKAV sämtliche Kavitätenarten umfaßt, war es interessant, zu erproben, wie er sich dem einfallenden Druck gegenüber verhält.

Beschreibung des Druckversuchs:

1. Herstellen der Proben:

Als Normalprobe zur Bestimmung der Druckfestigkeit gilt ein Zylinder, dessen Höhe gleich seinem Durchmesser gewählt wird; denn mit der Vergrößerung der Probenhöhe bei gleichbleibendem Querschnitt werden bei sonst gleicher Versuchsdurchführung niedrigere Werte der Druckfestigkeit erhalten (S i e b e l und L u d w i g (6)). Deshalb wurden zylindrische, planparallele Materialproben von 8 mm Höhe und 8 mm Durchmesser in den angegebenen Mischungsverhältnissen angefertigt. Dabei wurden an ihren Stirnflächen planparallel beschliffene Glasrohre von 8 mm Höhe und 8 mm Innendurchmesser auf einer Glasplatte stehend bis knapp über den Rand gefüllt; mit einer zweiten Glasplatte wurde der Überschuß durch festes Aufdrücken zum Abfließen gebracht, die Probe in ihre endgültige Form gepreßt und ihre Erhärtung abgewartet. 15 Minuten nach dem Anrühren wurden die Proben aus den Glasrohren entfernt, und ein Teil wurde bei 20°C Raumtemperatur in Luft, der andere Teil in destilliertem Wasser von ebenfalls 20°C während 24 Stunden aufbewahrt.

2. Durchführung des Druckversuchs:

Zwischen Mischungsbeginn und der Prüfung auf Druckfestigkeit lagen jeweils 24 Stunden. Die Durchführung der Druckversuche erfolgte an einer Universalprüfmaschine für Druck- und Zugfestigkeit (Bauart WOLPERT) mit einer maximalen Belastbarkeit von 2 Tonnen. Die einzelnen Werkstoffproben wurden zwischen zwei gehärteten Druckplatten aus Werkzeugstahl geprüft. Während aller Versuche wurde die Belastungsgeschwindigkeit konstant gehalten, so daß auf alle Prüfkörper eine Belastungszunahme von 0,2 $kp \cdot mm^{-2} \cdot sec^{-1}$ einwirkte. Der Bruch des Prüfzylinders zeigte den Endpunkt der Druckfestigkeitsprüfung an.

3. Ergebnisse:

Bei der Versuchsdurchführung konnte man folgende Brucharten beobachten:

a) Die Kunststoffe PALAKAV, ADDENT 12 und ADDENT 35 zeigten eine typische Druckkegelausbildung. Die Ausbauchung der Prüfzylinder während der Versuche ist auf die an den Preßflächen zwischen Maschine und eingespannter Probe auftretende Reibung zurückzuführen. Durch diese Reibungskräfte wird die Querdehnung an den Endflächen der Proben behindert. Von den Endflächen der Probe aus erstreckt sich die Behinderung der Verformung kegelförmig bis in ihre Mitte. Dadurch bedingt beläuft sich die plastische Verformung im Wesentlichen auf die außerhalb dieser Kegel liegenden Bereiche. Man bezeichnet diese Kegel auch als "Rutschkegel", weil längs ihrer Mantelflächen die Hauptverformung er-

folgt (N i e t z s c h e u. a. (5)).

b) PALAVIT 55 ging bei der Druckbeanspruchung nicht zu Bruch, sondern wurde ähnlich wie gut verformbare metallische Werkstoffe, wie weiches Eisen oder Kupfer, stark gestaucht. Als Höchstlast zur Berechnung der Druckfestigkeit wurde das erstmalige Absinken der Belastung bei ca. 50 % iger Stauchung gewählt.

c) Der Silikatzement SUPER-SYNTREX ist bei der Druckbelastung zerbröckelt. Dieses Verhalten ist auf die Sprödigkeit des Materials zurückzuführen, denn bei Überschreiten der Druckfestigkeit in den Gebieten der größten Schiebung tritt bei spröden Werkstoffen der Bruch ein.

Die Bruchwerte in kp wurden auf $kp \cdot mm^{-2}$ bezogen, aus je drei Bestimmungen gemittelt und in Abb. 1 und Abb. 2 graphisch dargestellt.

Abb. 1 bringt eine schematische Zusammenfassung der Druckfestigkeitswerte aller Prüfwerkstoffe 24 Stunden nach dem Anrühren. Die Druckfestigkeit der verschiedenen Kunststoffe ist recht unterschiedlich. Die geringste Druckfestigkeit hat PALAVIT 55 aufzuweisen, die größte ADDENT 12. Dazwischen liegen die Werte von PALAKAV, das im Verhältnis M1 angerührt dem ADDENT 35 etwa gleichkommt. Aus den drei verschiedenen Werten PALAKAV M1, M2 und M3 kann man ersehen, daß die Druckfestigkeit durch das Mischungsverhältnis Pulver zu Flüssigkeit geringgradig beeinflußt wird: dick angerührte Mischungen (M1) weisen gegenüber dünn angerührten (M3) eine größere Druckfestigkeit auf.

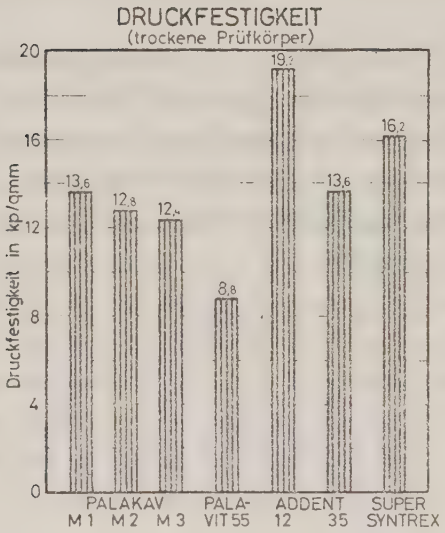


Abb. 1: Druckfestigkeit verschiedener Füllmaterialien 24 Stunden nach dem Anrühren. Die größte Druckfestigkeit zeigt ADDENT 12, die geringste PALAVIT 55. Dazwischen liegen die Werte von SUPER-SYNTREX, ADDENT 35, ADDENT 12 und PALAKAV.

Vergleichsweise wurde die Druckfestigkeit des Silikatzementes SUPER-SYNTREX ermittelt. Sie liegt mit 1619 $kp \cdot cm^{-2}$ knapp über dem in der ADA - Spezifikation Nr. 9 für Silikatzemente geforderten Sollwert.

Ermittelt man die Druckfestigkeit der Proben, die 15 min nach dem Anmischen für 24 Stunden in destilliertes Wasser gelegt wurden, so ergibt sich folgendes Bild: Die Druckfestigkeit aller Prüfmaterialien verringert sich. Bei den Kunststoffen

bewegt sich dieser Abfall in geringen Grenzen, und reicht von 6 % bei PALAKAV M2 bis zu 15 % bei ADDENT 12. Beim Silikatzement jedoch sank die Druckfestigkeit um rund 35 % auf 1050 $kp \cdot cm^{-2}$ herab. An feuchten Proben ermittelt besitzt der Silikatzement eine geringere Druckfestigkeit als PALAKAV.

Weiter war es interessant, zu erfahren, ob diese nach 24 Stunden gemessene Druckfestigkeit sich sofort nach der primären Erhärtungszeit einstellt. Aus diesem Grunde wurde die Zunahme der Druckfestigkeit während 24 Stunden beobachtet und für die Kunststoffe PALAKAV und ADDENT 35 in Abb. 2 graphisch dargestellt.

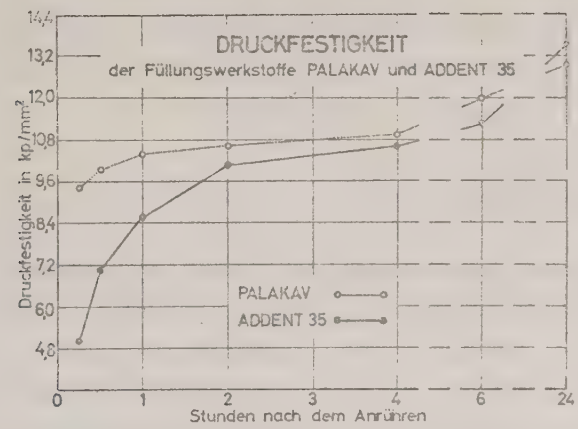


Abb. 2: Zunahme der Druckfestigkeit der Kunststoffe PALAKAV und ADDENT 35 in den ersten 24 Stunden nach dem Anrühren. Die Primärhärte von PALAKAV, 15 min nach dem Anrühren gemessen, wird von ADDENT 35 erst nach etwa zwei Stunden erreicht.

Die Druckfestigkeit der Kunststoffe PALAKAV (M2) und ADDENT 35 steigt in der ersten Stunde nach dem Anteigen steil an, wobei der Palakavwert nach 15 min fast doppelt so hoch liegt, wie der von ADDENT 35, das erst nach mehr als zwei Stunden den Werten von PALAKAV nahe kommt. Danach folgt ein nur mäßiger Anstieg der statischen Festigkeit beider Materialien, die ihren Endwert 24 Stunden nach dem Anrühren sicherlich nicht mehr weit überschreiten wird.

II. Die Härte der Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis

Wenn PALAKAV, wie vom Hersteller empfohlen, für alle Füllungen und Aufbauten im Front- und Seitenzahnbereich an vitalen und marktoten Zähnen indiziert ist, so sind neben der Druckfestigkeit weiterhin die Härte und der Abrieb dieses Füllmaterials von klinischem Interesse.

1. Versuchsbeschreibung:

Zur Härtebestimmung wurde das VICKERSVERFAHREN gewählt. Hierbei wird eine vierseitige Diamantpyramide mit einem Flächenwinkel von 136° mit einer bestimmten Belastung in das Werkstück eingedrückt. Bezieht man diese Belastung auf die Eindruckoberfläche, so erhält man die VICKERSHÄRTE.

Beim Versuch selbst wurden die beiden Diagonalen des quadratischen Eindrucks mit Hilfe eines Meßmikroskops ausgemessen, gemittelt, und damit die Härte bestimmt. Als Prüfgerät wurde für alle Versuche eine Universalprüfmaschine DIA-TESTOR 250 (Bauart WOLPERT) verwendet.

Die Prüfkörper wurden in Zylinderform in den angegebenen Mischungsverhältnissen hergestellt. Die Prüfflächen der verschiedenen Werkstoffe waren plan und hochglänzend, damit die Eindrücke der Diamantpyramide scharfe Kanten aufwiesen. Als Belastung wurden 5 kp gewählt, die bei allen Versuchen während 15 sec auf die Probenoberfläche einwirkten.

2. Ergebnisse:

Die nachfolgenden Abb. 3 und Abb. 4 geben den Durchschnitt aus je 9 Bestimmungen an.

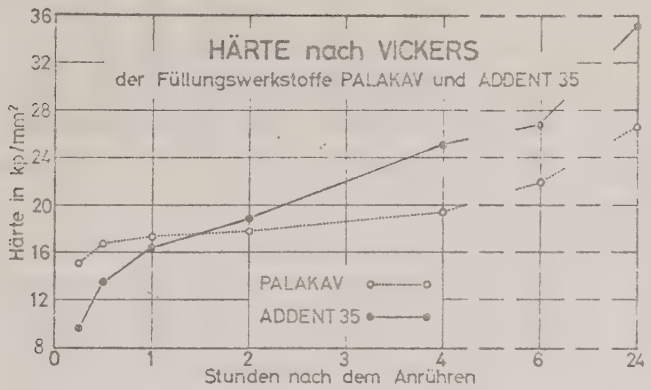


Abb. 3: Verlauf der Härtezunahme der Kunststoffe PALAKAV und ADDENT 35 während 24 Stunden. Die anfangs größere Härte von PALAKAV wird nach etwa zwei Stunden von ADDENT 35 erreicht und überstiegen.

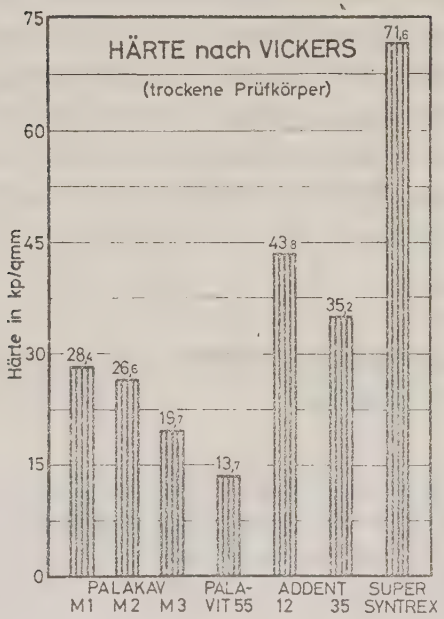


Abb. 4: Härte aller Versuchsmaterialien 24 Stunden nach dem Anrühren gemessen. Die größte Härte zeigt der Silikatzement SUPER-SYNTREX, die geringste der Kunststoff PALAVIT 55. Dazwischen liegen die Werte von ADDENT 12, ADDENT 35 und PALAKAV.

Wie aus Abb. 3 zu ersehen ist, steigt wie die Druckfestigkeit auch die Härte in den ersten Stunden nach der Herstellung der Proben steil an. Die Palakavkurve wird bald von ADDENT 35 eingeholt und überstiegen. Abb. 4 bringt die graphische Darstellung der Härtewerte von 24 Stunden alten Proben. Die größte Härte mit einem Wert von 71,6 $kp \cdot cm^{-2}$ besitzt der Silikatzement SUPER-SYNTREX, die geringste mit 13,7 $kp \cdot cm^{-2}$ der Kunststoff PALAVIT 55. Dazwischen liegen

die Werte von ADDENT und PALAKAV. Da beide Materialien neben dem organischen Kunststoff noch anorganische Beimengungen enthalten, überrascht ihre im Vergleich zu PALAVIT 55 wesentlich größere Härte nicht.

Mißt man die Härte von Proben, die 15 min nach dem Anrühren während 24 Stunden in destilliertem Wasser von 20°C lagen, erhält man um etwa 10 - 20 % geringere Werte, ohne daß sich die Relation unter den einzelnen Füllmaterialien entscheidend ändert.

III. Die Haftintensität der Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis

Die wichtigste werkstoffkundliche Untersuchung an dem neuen Kunststoff PALAKAV im Hinblick auf die Mundbeständigkeit dürfte wohl die Bestimmung seiner Haftung am Zahnhartgewege sein. Von ihr nämlich, die der Schrumpfung entgegenwirken muß, ist das Aufkommen von Spaltbildung zwischen Füllung und Kavitätenwand mit all ihren unerwünschten Folgen abhängig. Somit gewinnt das Problem der Haftintensität im Rahmen dieser Untersuchungen eine besondere klinische Bedeutung.

Über die Ursache der Haftung eines Füllmaterials am Dentin herrschen zwei Ansichten: Die von D r u m (1), H a t t e m e r und K ü b e l (3) vertretene Meinung sieht die Ursache hauptsächlich in der Adhäsion, d.h. in intermolekularen oberflächenaktiven Kräften. Adhäsion stellt die anziehenden Molekularkräfte dar, die den Molekülzusammenhalt der Teilchen verschiedener Körper bewirken. Diese Kräfte elektrischer Natur sind zu gering, um zahnärztlich-praktische Bedeutung zu erhalten, und haben wenig mit der Haftintensität gemein, wie

sie von F a l c k (2) und W e i k a r t (8) verstanden wird. Nach ihrer Meinung entsteht Haftintensität durch die mechanische Verankerung oder Verzahnung eines Stoffes auf seiner Unterlage. Demnach ist die Haftintensität von drei Faktoren abhängig:

1. von der Rauhigkeit der Haftfläche,

2. von der Fähigkeit des plastischen Füllmaterials, in feinste Formen eindringen zu können (Korngröße!),

3. vom Ausmaß der Schrumpfung, die ja bestrebt ist, den Füllstoff von den Kavitätenrändern abzuziehen.

Da aber PALAKAV, wie vom Hersteller angegeben, zusätzlich zu den Kräften der Adhäsion und der mechanischen Verankerung sich durch Brückenbindung chemisch mit dem Dentin verknüpfen soll, müssen wir von diesem Kunststoff eine im Vergleich zu anderen plastischen Füllmaterialien wesentlich höhere Haftintensität erwarten.

1. Methode zur Untersuchung der Haftintensität:

a) Beschreibung der Meßvorrichtung:

Die Meßvorrichtung stimmt mit der von S t ü b e n und L o c k o w a n d t (7) entwickelten Apparatur überein. Sie besteht aus drei Hauptteilen: dem Haftteil A, dem Abreißteil B und dem Führungsrohr C.

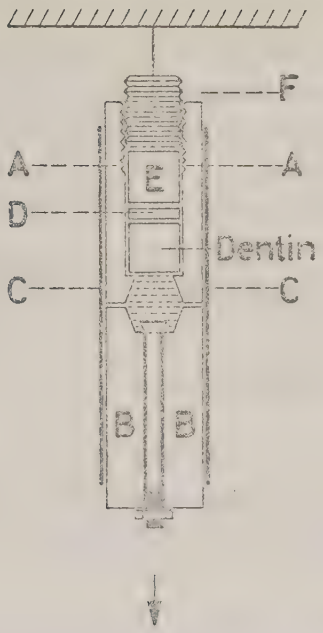


Abb. 5: Meßvorrichtung zur Prüfung der Haftintensität

Der Haftteil A, ein Hohlzylinder, besitzt eine konisch durchbohrte Stirnfläche (Durchmesser der Bohrung an der Abreißfläche 5 mm), durch die der Dentinkern mit dem zu prüfenden Werkstoff, der fest am Abreißteil B verankert ist, in Verbindung steht. Bei Verschluß des Haftteiles wird der Dentinkörper durch eine Gummischeibe D, ein Distanzstück E und eine Schraube F auf die plane Abrißfläche gepreßt.

Der Abreißteil B, ein Vollzylinder, trägt an seiner Stirnseite ebenfalls eine konische Bohrung (Durchmesser 9 mm) zur Aufnahme des Prüfwerkstoffes sowie eine Schraube, deren

Kopf in das plastische Material hineinragt und den Zug auf den Prüfstoff überträgt. Das Führungsrohr C, das sowohl den Haftteil als auch den Abreißteil teleskopartig umschließt, garantiert einen senkrecht auf die Haftfläche wirkenden Zug. Um eine Verfälschung der Versuchsergebnisse durch eine in der Führungshülse auftretende Sogwirkung auf die Teile A und B auszuschalten, wurden diese Teile seitlich geschlitzt und ein genügender Luftzutritt ermöglicht.

b) Versuchsbeschreibung:

Als Haftfläche diente Dentin von Zähnen, die nach Extraktion in physiologischem NaCl aufbewahrt wurden. Eine Anzahl von Molaren wurde an einer Schleifapparatur occlusal soweit beschliffen, bis ebene Dentinflächen vorlagen, zu denen ein paralleler Schliff durch die Wurzeln geführt wurde. Auf diese Weise wurde ein Verkanten der Dentinkörper beim Schließen des Haftteiles vermieden und eine senkrechte Stellung der Haftfläche zur Abreißrichtung erreicht. Durch die Verwendung einer Vielzahl von Zähnen bei den Versuchen wurde ein Einfluß durch Weite und Verlauf der Dentinkanälchen auf die Meßergebnisse ausgeschlossen. Alle Dentinkörper wurden vor jedem Versuch bei mäßiger Drehgeschwindigkeit auf Sandpapierscheiben gleicher Körnung (180) plangeschliffen. In Abb. 6 ist die derartig vorbehandelte Dentinoberfläche profilographisch und photographisch dargestellt.

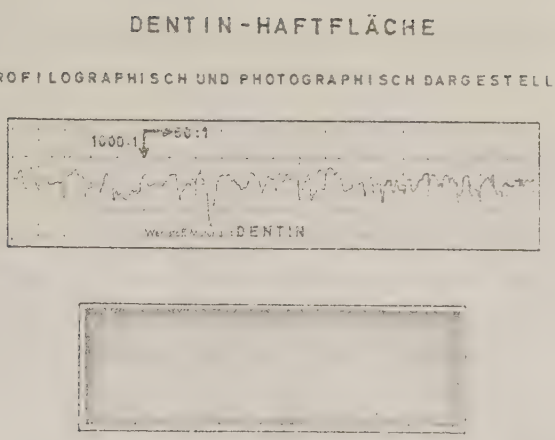


Abb. 6: Dentinhaftfläche mit Sandpapier (Körnung 180) vorbereitet profilographisch und photographisch dargestellt.

Danach wurden die entstaubten Dentinkerne mit einer Pinzette in den Haftteil eingelegt. Die Gummischeibe D (Stärke 2 mm) bewirkte bei Verschluß des Haftteiles eine gleichmäßige Druckverteilung der Dentinprobe auf die plane Prüffläche.

Haft- und Abreißteil der Messingapparatur wurden in der Flamme erhitzt und an den zu isolierenden Stellen mit weißem Preponwachs bestrichen. Mit dem aufgetragenen Wachs wurden sie nochmals kurz durch die Flamme gezogen, wobei sich das Wachs gleichmäßig verteilte und einen ebenen Wachsisolierfilm entstehen ließ.

Die Prüfwerkstoffe wurden, ihrem Mischungsverhältnis entsprechend angerührt, auf Haftfläche und Abreißteil gebracht, die beide unter leichtem Druck im Führungsrohr zusammengefügt wurden. Alle Prüfmaterialien härteten von ihrem Misch-

beginn an 75 min in der Meßvorrichtung bei 20° Raumtemperatur aus.

Beim Abreißversuch selbst wurde durch Einfüllen von Wasser in einen Behälter, der an einer Öse des Abreißteiles befestigt war, die Belastung durchgeführt. Der Wasserzulauf wurde mit 2 Liter/min konstant gehalten. Der Wert der Haftintensität ergab sich aus der Summe: Gewicht Wasser + Gewicht Behälter + Gewicht Abreißteil sowie der Umrechnung auf $kp \cdot cm^{-2}$.

2. Ergebnisse:

In Abb. 7 sind die aus 10 Messungen je Fabrikat und Mischungsverhältnis ermittelten Werte der Haftintensität in $kp \cdot cm^{-2}$ wiedergegeben.

Die einzelnen Füllmaterialien weisen recht unterschiedliche Haftungswerte auf. Die geringste, klinisch bedeutungslose Haftung liegt beim Silikatzement vor. Ebenfalls reicht die schon wesentlich stärkere Haftung der Kunststoffe PALAVIT 55 und ADDENT nicht aus, um im Munde einen dauerhaften Kontakt zum Dentin aufrecht zu halten. Eine überraschend gute Haftung besitzt das neue Füllmaterial PALAKAV, dessen Haftintensität durch das Pulver - Flüssigkeitsverhältnis zu beeinflussen ist. Die normal angerührte Probe (M2) weist gegenüber der dick angerührten (M1) eine um 30 % höhere Haftung auf. Eine weitere Änderung des Mischungsverhältnisses zugunsten der Flüssigkeit (M3) führt zu keiner wesentlichen Steigerung der Haftintensitätswerte.

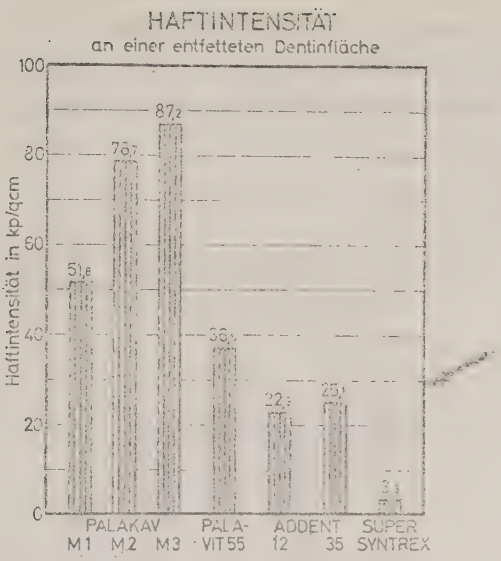


Abb. 7: Haftintensität verschiedener Füllmaterialien an einer entfetteten Dentinfläche. Die größte Haftintensität erreicht der Kunststoff PALAKAV, die geringste der Silikatzement SUPER-SYNTREX. Dazwischen liegen die Werte von PALAVIT 55, ADDENT 12 und ADDENT 35.

Hervorzuheben bleibt, daß die Haftung der Vergleichsmaterialien an einer mit Chloroform entfetteten, trockenen Dentinfläche ermittelt wurde, während für das PALAKAV entsprechend den Empfehlungen des Herstellers die Haftmessung ebenfalls an einer entfetteten, jedoch physiologisch feuchten Dentinfläche erfolgte; denn nach M a s u h a r a (4) tritt eine innige chemische Bindung des Kunststoffes an das Dentinkollagen nur an physiologisch feuchten Kavitätenwänden ein.

Die folgenden Versuche sollen Aufschluß erteilen, wie weit die Haftintensität des PALAKAVS durch verschiedene Vorbehandlung der Dentinflächen zu beeinflussen ist. Die Resultate dieser Versuche sind in Abb. 8 wiedergegeben.

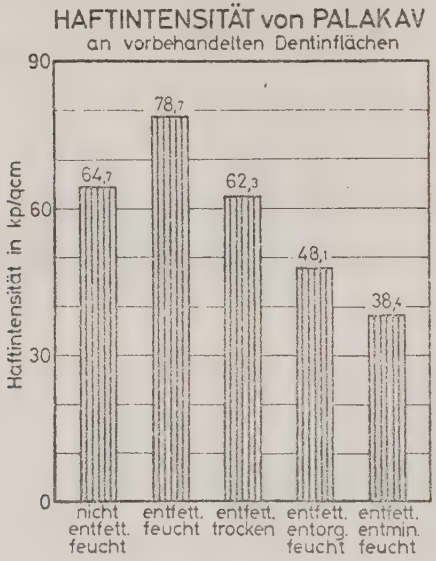


Abb. 8: Haftintensität von PALAKAV an verschieden vorbehandelten Dentinflächen. Am besten haftet PALAKAV an entfettetem, physiologisch feuchten Dentin.

Man kann die Haftung an einer feuchten Dentinfläche um 20 % erhöhen, wenn man vor Applikation des Kunststoffes die Dentinoberfläche zunächst mit einem chloroformgetränkten Wattetupfer entfettet und sie anschließend mit Wasser wieder be-

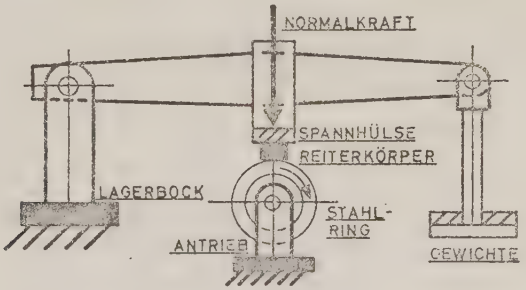
feuchtet. Wird die trockene Dentinfläche nur mit Chloroform entfettet und danach nicht wieder befeuchtet, so ist eine deutliche Haftminderung zu beobachten. Da das PALAKAV mit dem Dentinkollagen eine chemische Bindung eingeht, lag es nahe, das Dentin oberflächlich zu entmineralisieren, um das organische Gerüst auf der Haftfläche für die chemische Bindung freizulegen. Bei kurzzeitig (10 min) mit 10 % iger Salpetersäure vorbehandelten Dentinflächen trat nicht die erwartete Steigerung sondern ein deutlicher Haftabfall ein. Ebenfalls führt der Versuch, durch Antiformin (Einwirkungszeit 10 min) das organische Gerüst der Dentinstruktur zu verringern, zu einer deutlichen Haftminderung. Die Versuche haben das Ziel, die Haftintensität von PALAKAV durch eine besondere Vorbehandlung des Dentins zu steigern, nicht erreicht: am besten haftet PALAKAV an einer entfetteten, anschließend mit Wasser physiologisch befeuchteten Dentinfläche.

IV. Die Abrasion der Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis

Ein Füllmaterial, das zur Behebung kariöser Defekte im Molarenbereich verwendet wird, unterliegt den stärksten mastikatorischen Funktionen. So wirken auf eine Füllung im Kauzentrum nicht nur die maximale Kaukraft sondern auch der bei den Artikualtionsbewegungen auftretende Abrieb ein. Man kann ein Füllungsmaterial dieser Indikationsbreite nur dann als mundbeständig bezeichnen, wenn es diesen Einwirkungen gegenüber resistent bleibt und keinen nennenswerten Volumenverlust durch Abrieb erleidet. So gehört es auch zum Inhalt dieser physikalischen Untersuchungen, den durch Abrieb verursachten Schwund des Kunststoffes PALAKAV zu ermitteln.

1. Versuchsbeschreibung:

Die Abriebverschleiße wurden auf einer Vorrichtung durchgeführt, deren Anordnung in den unten stehenden Skizzen (Abb. 9 und Abb. 10) schematisch dargestellt ist.



PRÜFAPPARATUR FÜR GLEITVERSCHLEISS

Abb. 9: Prüfapparatur zur Bestimmung des Gleitverschleißes der Prüfmaterialien.

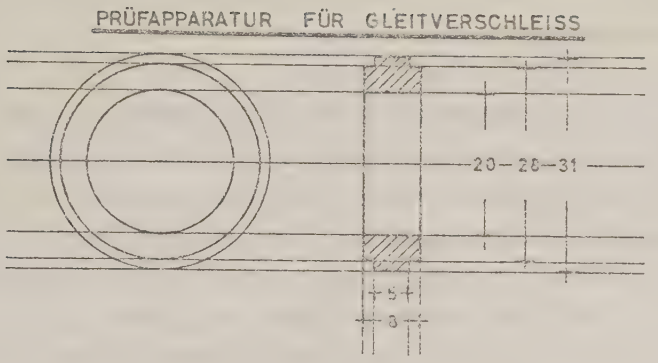


Abb. 10: Prüfapparatur zur Bestimmung des Gleitverschleißes. Rotierender Stahlring, gegen den die Materialprobe durch Gewichtsbelastung gedrückt wurden.

Auf einer über ein Schaltgetriebe von einem Elektromotor angetriebenen Welle ist ein Stahlring (Abb. 10) befestigt. Durch einen Waagebalken mit Gewichtsbelastung wird die in einer Spannvorrichtung befestigte Verschleißprobe gegen den umlaufenden Stahlring gedrückt. Die Einspannung der zylindrischen Prüfkörper (13 x 13 mm) erfolgt mittels Spannbüchsen, während die Stahlringe auf einer leicht konischen Welle [illegible] fest montiert werden. Die Belastung der Proben wurde durch Auflagegewichte eingestellt und in der Versuchsanordnung mit einem Ringkraftmesser bestimmt. Diese Normalkraft wurde bei allen Versuchen auf 12 kp belassen.

Als Gegenkörper dienten Gleitringe aus Vergütungsstahl der Qualität CK 35. Ihr Außendurchmesser und ihre Stegbreite hatten einige Zehntel mm Übermaß. Sie wurden erst nach ihrer Mon-

tage auf die Welle bei einer Drehgeschwindigkeit von 0,92 $m \cdot sec^{-1}$ auf ihr Endmaß abgedreht, so daß immer ein guter Rundlauf gewährleistet war.

Die Gleitgeschwindigkeit betrug bei allen Versuchen 0,2 $m \cdot sec^{-1}$. Der Gleitweg wurde mit 400 m konstant gehalten. Alle Versuche wurden bei Raumtemperatur, an Luft und ohne Schmierung ausgeführt. Die Belastung erfolgte senkrecht zur glatten, hochglänzenden Stirnfläche der Reiterkörper. Durch die Rotationsbewegung des Stahlrings an der Stirnseite des Prüflings wurde eine Verschleißmarke in der Breite des Stahlrings erzeugt, an der die Bestimmung des Abriebs vorgenommen wurde. Für jeden Werkstoff wurde 24 Stunden nach dem Anrühren der Proben in je drei Versuchen der Gleitverschleiß ermittelt.

2. Ergebnisse:

Gravimetrisch erfolgte die Verschleißmessung mit Hilfe einer Analysenwaage (Meßgenauigkeit $\pm$ 0,2 mg). Die Gewichtsdifferenz vor und nach dem Gleitversuch ergab den Gewichtsverschleiß in mg. Diese Werte sind in Abb. 11 zusammengefaßt.

Im Vergleich zu den mit anorganischen Beimengungen versetzten Kunststoffen hat das organische Füllmaterial PALAVIT 55 einen sehr großen Abrieb erfahren. Erstaunlich gering ist der Gleitverschleiß bei PALAKAV, der durch eine dick angerührte Mischung (M1) noch weiter herabgesetzt werden kann. Verglichen mit PALAKAV weist der Silikatzement SUPER-SYNTREX eine 10fach größere, PALAVIT 55 eine 20fach größere Abrasion auf.

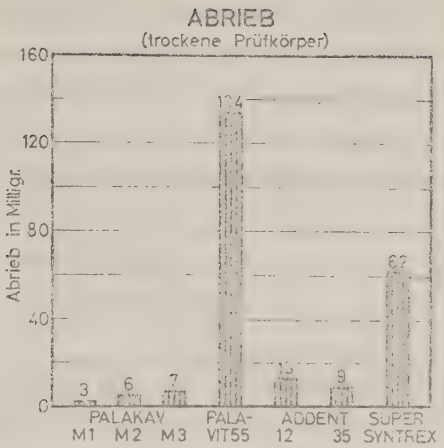


Abb. 11: Abrieb verschiedener Füllmaterialien in Tg-Versuchen. Die größte Abrasion erfuhr PALAVIT 55 gefolgt von SUPER-SYNTREX. Etwa gleich groß sind die Werte von PALAKAV, ADDENT 12 und ADDENT 35.

Auch der Gleitverschleißversuch wurde mit Proben gefahren, die 15 min nach Mischbeginn für 24 Stunden in destilliertem Wasser von 20°C gelagert wurden. Es ergab sich bei den einzelnen Füllmaterialien ein um 10 - 30 % geringerer Abrieb. Dies war der Fall, obwohl die Prüfzylinder vor Versuchsbeginn gründlich oberflächlich getrocknet worden waren. Diese Abrasionsminderung ist zu erklären, wenn man annimmt, daß sich während des Versuchs zwischen der Sirnfläche des Reiterkörpers und dem rotierenden Stahlring ein Flüssigkeitsfilm ausbildet,

der als Gleitmittel wirkt und so den Abrieb verringert.

Da die gravimetrische Angabe der Abrasion allein als klinische Aussage unvollständig ist, und die Frage nach dem Volumenverlust einer Füllung durch Abrieb klinisch mehr interessiert, wurden die Werte von Gewichts- auf Volumeneinheiten umgerechnet.

Diese Umrechnung erfolgte nach der Formel:

$$V = \frac{\Delta G}{\rho}$$

ΔG = Abrieb (mg)
ρ = Dichte

Sie erforderte die Kenntnis der Dichte der einzelnen Prüfmaterialien, auf deren Bestimmung im folgenden Teil eingegangen wird.

Die Dichte ρ eines Körpers ist das Verhältnis seiner Masse zu seinem Volumen ($g \cdot cm^{-3}$). Nur bei porenfreien Körpern kann man die Dichte als physikalische Größe direkt messen. Bei den zu untersuchenden Werkstoffen wird deshalb das Raumgewicht als Quotient aus Gewicht und Volumen einschließlich der Poren bestimmt.

Demnach erfordert die Dichtemessung die Kenntnis des Volumens und der Masse. Die Bestimmung der Masse erfolgte durch Wägung. Die Bestimmung des Raumgewichtes aller Prüfkörper wurde mit Hilfe eines Pyknometers durchgeführt. Das Gewicht G der durch die Probe verdrängten Wassermenge ergibt sich aus folgender Formel:

$$G = G_1 + G_3 - G_2$$

G_1 = Gewicht der Probe

G_2 = Gewicht des mit Wasser gefüllten Pyknometers

G_3 = Gewicht des gefüllten Pyknometers mit Probe

Unter Berücksichtigung der Wassertemperatur für die Dichte des Wassers ergibt sich dann das Volumen der Probe:

$$V = \frac{G}{\rho}$$

Alle Versuche wurden 24 Stunden nach dem Anrühren der einzelnen Werkstoffe bei einer Raumtemperatur von 20°C durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abb. 12 zusammengefaßt.

Dichte verschiedener Füllungswerkstoffe 24 Stunden nach dem Anrühren bei 20°C		
PALAKAV (M 1)	1,60	(± 0,01)
(M 2)	1,57	(± 0,01)
(M 3)	1,55	(± 0,01)
PALAVIT 55	1,17	(± 0,02)
ADDENT 12	1,80	(± 0,02)
ADDENT 35	1,81	(± 0,01)
SUPER SYNTREX	2,18	(± 0,02)

Abb. 12: Dichte verschiedener Füllmaterialien 24 Stunden nach dem Anrühren bei 20°C.

Die Abb. 13 bringt eine graphische Darstellung des nun volumetrisch ermittelten Gleitverschleißes.

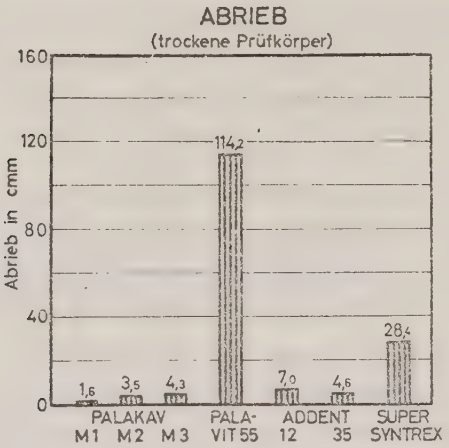


Abb. 13: Abrieb verschiedener Füllmaterialien volumetrisch ermittelt.

Wie man in Abb. 13 sieht, unterscheiden sich die volumetrisch bestimmten Werte nur geringfügig von den gravimetrisch errechneten. Zusammenfassend kann man also feststellen, daß der Gleitverschleiß - ob in Gewichts- oder Volumeneinheiten angegeben - beim PALAVIT 55 am größten und beim PALAKAV am geringsten ist. Etwa in der Mitte zwischen beiden Werten liegt der Verschleißwert für den Silikatzement SUPER-SYNTREX:

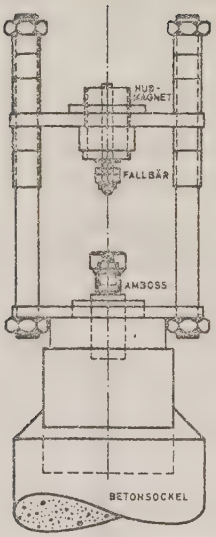
4. Untersuchung des Materialverhaltens bei Dauerschlagverschleiß

Neben dem überwiegend durch Artikulationsvorgänge bewirkten Abrieb bedeuten Einwirkungen, wie sie etwa bei reinen Occlusionsbewegungen auftreten, eine erhebliche Belastung für ein Füllungsmaterial. Um mundbeständig zu sein, muß gerade ein Werkstoff, der zu Aufbauzwecken im Frontzahnbereich angewendet wird, gegen Schlagbelastungen, wie sie bei Kaubewegungen entstehen können, widerstandsfähig sein. So war es interessant, das Verhalten der verschiedenen Füllmaterialien im Dauerschlagverschleißversuch zu testen.

a) Versuchsbeschreibung:

Zur Ermittlung des Verhaltens gegenüber Dauerschlagbeanspruchung wurden einige Proben sämtlicher Versuchsmaterialien untersucht. Diese Versuche wurden auf einer Schlagvorrichtung durchgeführt, welche aus einem Elektromagneten, einem Fallhammer und einem Amboß mit Probenhalterung besteht (s. Abb. 14).

Der Elektromagnet hebt den Schlagbären mit einer Hartmetallkugel als Schlagkörper an und läßt ihn periodisch auf die Probe fallen, sobald die Stromzufuhr unterbrochen wird. Die Hartmetallkugel hatte einen Durchmesser von 9,5 mm und eine VICKERSHÄRTE von 1700 $kp \cdot mm^{-2}$; sie war fest am Fallhammer angebracht. Das Gewicht des Fallhammers betrug 295 g. Für eine Fallhöhe von 1,8 cm beträgt demnach die Schlagarbeit des Fallbären 0,53 cm·kp. Die Schlagfrequenz lag bei 120 $\cdot min^{-1}$. Als Proben wurden zylindrische Proben mit 8 mm Höhe und 12 mm Durchmesser benutzt.



SCHLAGPRÜFGERÄT

Abb. 14: Anordnung zur Ermittlung des Dauerschlagverschleißes der einzelnen Füllmaterialien.

b) Ergebnisse:

Die Werkstoffe PALAKAV, PALAVIT 55, ADDENT 12 und ADDENT 35 wurden mit 10 000 Schlägen belastet. Während der Versuchsdurchführung prägte sich auf der ursprünglich planen Probenoberfläche eine kalottenförmige Eindellung mit einem Durchmesser von 2 - 3 mm ein. Ein Substanzverlust konnte nicht nachgewiesen werden. Die Silikatzementproben sind bereits nach einer sehr geringen Schlagbeanspruchung von etwa 20 Schlägen zerbrochen.

V. Die Wasseraufnahme der Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis

Die Volumenbeständigkeit ist ein weiterer Faktor, der zur Mundbeständigkeit eines Füllmaterials erforderlich ist. Durch Wasseraufnahme kommt es zur Quellung der Füllmaterialien. Mit der Volumenzunahme der Füllmaterialien gehen sowohl kleinste Schmelzrisse als auch Absprengung größerer Teile des Zahnhartgewebes einher, und in kurzer Zeit kann sich die Karies vom Randspalt her wieder ausbreiten. Aus diesen Gründen war es interessant, die Wasseraufnahme der einzelnen Prüfmaterialien zu ermitteln.

Zur Bestimmung der Wasseraufnahme wurden, den Mischungsverhältnissen der Prüfwerkstoffe entsprechend, Proben angefertigt. 15 min nach dem Anrühren wurde von allen Proben das Gewicht auf einer Analysenwaage (Meßgenauigkeit $\pm$ 0,2 mg) bestimmt. Sofort nach dem Abwiegen wurden die Werkstoffe in Wasser von 20°C gelegt. Nach 24 stündiger Lagerung in Wasser wurden alle Prüfkörper erneut gewogen, nach dem sie zuvor oberflächlich getrocknet wurden.

Aus der Differenz der beiden Gewichtsbestimmungen ließ sich dann die Wasseraufnahme berechnen. Die Versuchsergebnisse sind in Abb. 15 wiedergegeben. Sie zeigen, daß der Silikatzement SUPER-SYNTREX mit einer Wasseraufnahme von 69,32 Gew. °/oo eine mehr als 20fach größere Wassermenge aufnimmt als die schnellhärtenden Kunststoffe. Bei den Kunststoffüllmaterialien liegen die Werte der Wasseraufnahme dicht beieinander. Hier zeigt PALAVIT 55 mit 3,44 Gew. °/oo die größte und ADAPTIC 12 mit 1,06 Gew. °/oo die geringste Wasseraufnahme, dazwischen liegen die Palakavwerte mit etwa 3,33 Gew. °/oo.

Wasseraufnahme verschiedener Füllungswerkstoffe	24 Stunden bei 20°C
PALAKAV (M 1)	3,28 (± 0,17) Gew.°/oo
(M 2)	3,33 (± 0,43) Gew.°/oo
(M 3)	3,35 (± 0,11) Gew.°/oo
PALAVIT 55	3,44 (± 0,23) Gew.°/oo
ADDENT 12	1,06 (± 0,00) Gew.°/oo
ADDENT 35	1,85 (± 0,75) Gew.°/oo
SUPER SYNTREX	69,32 (± 1,98) Gew.°/oo

Abb. 15: Wasseraufnahme verschiedener Füllmaterialien nach 24. stündiger Aufbewahrung in dest. Wasser von 20°C.

C. Zusammenfassung:

Der neue auf Methacrylatbasis entwickelte schnellhärtende Kunststoff PALAKAV wurde werkstoffkundlich mit anderen gebräuchlichen plastischen Füllmaterialien geprüft. Dabei zeigte sich, daß Druckfestigkeit, Härte und Abrieb des PALAKAVS keine allzugroßen Unterschiede gegenüber den Vergleichsmaterialien aufweisen. Was jedoch die Haftung am Dentin anbelangt, so heben sich die Haftintensitätswerte des PALAKAVS weit von denen der anderen Füllmaterialien ab.

Füllmaterial	Prüfkörper	PALAKAV M1	PALAKAV M2	PALAKAV M3	Palavit 55	Addent 12	Addent 35	Super-Syntrex
Druckfestigkeit in $kp \cdot cm^{-2}$	trocken	1354,8 (± 9,9)	1297,2 (± 13,6)	1236,8 (± 12,4)	1217,2 (± [illegible])	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	feucht		1012,5 (± 12,2)		930,[illegible] (± [illegible])	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Härte nach Vickers in $kp \cdot mm^{-2}$	trocken	26,[illegible] (± 0,7)	26,[illegible] (± 0,5)	29,7 (± 0,5)	[illegible] (± 0,2)	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	feucht		20,7 (± 0,3)		12,[illegible] (± 0,1)	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Abrieb in mg	trocken	2,7 (± 0,3)	5,6 (± 0,7)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	feucht		3,7 (± 0,1)		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Abrieb in mm^3	trocken	[illegible] (± 0,3)	[illegible] (± 0,4)	[illegible] (± 0,4)	[illegible] (± 0,2)	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	feucht		[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Haftung am Dentin in $kp \cdot cm^{-2}$	trocken	[illegible]	[illegible] (± 1,6)	[illegible] (± [illegible])	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Dichte	trocken	1,60 (± 0,01)	[illegible] (± 0,01)	[illegible] (± 0,01)	[illegible] (± [illegible])	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Tab. 2: Zusammenstellung aller Versuchsergebnisse der Füllmaterialien PALAKAV, PALAVIT 55, ADDENT 12, ADDENT 35 und SUPER-SYNTREX. Standardabweichungen des Mittelwertes in Klammern.

Durch das PALAKAV ist der Blick auf der Suche nach neuen Füllmaterialien in eine andere Richtung gelenkt worden: In Zukunft darf man von einem Füllungsmaterial nicht nur erwarten, daß es die Kavität volumenbeständig füllt, sondern darüber hinaus auch fordern, daß es mit dem Zahnhartgewebe eine widerstandsfähige, feste chemische Bindung eingeht. In dieser Hinsicht ist das PALAKAV richtungsweisend und ein erster Schritt auf dem Wege zum Füllungsmaterial der Zukunft.

Schrifttum

1. D r u m , W.: Prüfungsvorschriften für Phosphatzemente. Dtsch. Zahnärtzl. Zschr. 4, 1555-1557 (1949).

2. F a l c k , K.: Einführung in die Werkstoffkunde für Zahnärzte. Verlag Carl Hanser, München 1948.

3. H a t t e m e r , A. und K ü b e l , K.: Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche Werkstoffe. Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 5, 1031-1033 (1950).

4. M a s u h a r a , E.: Über die Chemie eines neuen haftfähigen Kunststoff - Füllmaterials. Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 24, 620 (1969).

5. N i e t z s c h e , K. u. A.: Der Druckversuch. Werkstoffprüfung von Metallen, Band I, 64 - 68. VEB, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1963

6. S i e b e l , E. und L u d w i g , K.: Fließkurve und wahre Spannungen. Handbuch der Werkstoffprüfung, Band II, 97 - 101. Springer Verlag, Berlin 1953.

7. S t ü b e n , J. und L o c k o w a n d t , R.: Experimentelle Untersuchungen über die Haftintensität des schnellhärtenden Kunststoffes. Zahnärztl. Welt 7, 298 (1952).

8. W e i k a r t , P.: Adhäsion oder Haftintensität von Zahnzementen.
Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 5, 1033-1034 (1950).

Zum Schluß sei es mir gestattet, Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. J. Stüben für die Überlassung des Themas und seine freundliche Unterstützung bei der Bearbeitung desselben höflichst zu danken.

Lebenslauf

Ich, Erich-Claus Marquardt, wurde am 27. August 1944 in Markirch (Elsaß) als 2. Kind des Architekten Erich Marquardt und seiner Ehefrau Else, geb. Adler, geboren. Vom Jahre 1950 bis 1954 besuchte ich die Volksschule in Völklingen. Anschließend trat ich zum Schuljahr 1954/55 in die Sexta des staatlichen Ludwigsgymnasiums in Saarbrücken ein. Im Jahre 1958 wechselte ich die Schule und besuchte seit dem Schuljahr 1958/59 die Heimschule Lender in Sasbach (Baden). An dieser Schule habe ich am 9. März 1965 die humanistische Reifeprüfung bestanden.

Im Sommersemester 1965 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Universität des Saarlandes, wo ich nach dem 3. Semester die naturwissenschaftliche Vorprüfung und nach dem 7. Semester die zahnärztliche Vorprüfung abgelegt habe. Vor dem Prüfungsausschuß in Homburg/Saar habe ich am 13. Juli 1971 die zahnärztliche Prüfung mit dem Gesamtergebnis "Gut" bestanden. Seit September 1971 bin ich als Assistenzzahnarzt in der Praxis Dr. med. dent. Werner Röhrig in Saarbrücken beschäftigt.